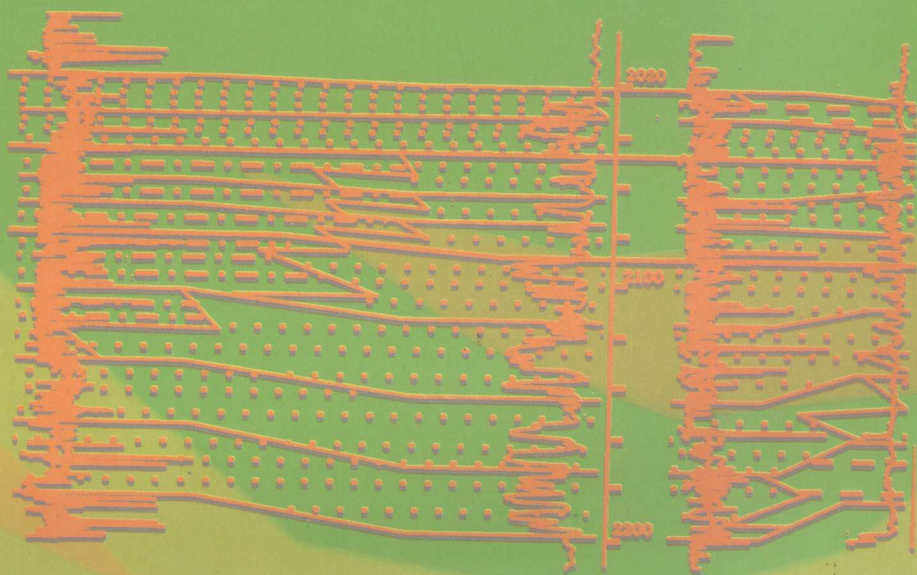


砂体层序地层 及沉积学研究

——以山东惠民凹陷为例

姜在兴 操应长 等著



地质出版社

砂体层序地层 及沉积学研究

——以山东惠民凹陷为例

姜在兴 操应长 邱隆伟 杨剑萍 陈发亮 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以惠民凹陷为例介绍了砂体层序地层及沉积学的研究方法和内容,研究了陆相断陷湖盆层序地层的控制因素、层序地层模式和层序地层框架内含油砂体的形成和分布,并对砂体的成岩作用及其对储层性质的控制进行了阐述。同时讨论了层序地层学及沉积体系研究在油气预测中的应用。

本书内容丰富、资料翔实,可供石油公司、科研院所、高等院校等单位的地质工作者参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

砂体层序地层及沉积学研究:以山东惠民凹陷为例/姜在兴等著.-北京:地质出版社,2000.6
ISBN 7-116-03055-7

I. 砂… II. 姜… III. ①油砂体-沉积构造-地层层序-研究②沉积学-研究 IV. P588.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 16639 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:祁向雷

责任校对:王素荣

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:11.625 图版:1 页 字数:270000

2000 年 6 月北京第一版·2000 年 6 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:30.00 元

ISBN 7-116-03055-7
P·2112

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

砂岩体作为油气水的储集体是地质研究和勘探的重要对象。国内外已有大量关于层序地层学、沉积体系和成岩作用的文献著述。本书的特点在于以砂体为主线将层序地层、沉积体系和储层成岩作用融为一体，从而将砂体的形成、分布和埋藏演化放在一个统一的时空体系中加以研究。

本书首先强调了构造和气候对断陷湖盆层序地层的控制，提出了体系域划分的四分方案；指出构造运动导致湖岸线向盆地方向退缩，产生下降体系域；并探讨了红层层序地层学。第二，在岩性、古生物、地球化学和地球物理相标志研究的基础上，建立了河流三角洲、滩坝、风暴、浊积岩、湖泊和洪水漫湖等体系的沉积模式；结合单井相分析，井间相变对比及地层等厚图、砂岩等厚图、砂岩百分比图及古水流分析图等，指出了不同时期各类砂体的形成和分布。第三，利用薄片、扫描电镜、X射线衍射、阴极发光、铸体、稳定同位素和有机地球化学等分析测试资料，研究了成岩事件、成岩阶段和储层特征，同时阐述了盆地不同位置由于构造运动的差异导致埋藏史和孔隙演化史及储层性质的差异。第四，介绍了层序地层及沉积学研究在油气生、储、盖和圈闭预测中的应用。

本研究得到了胜利石油管理局临盘采油厂、地质科学研究院、测井公司和石油大学（华东）等单位的大力帮助，其中，张勇、付金华、杜玉民、王希明高级工程师和王永刚、张军华副教授等参加了部分研究工作，在此一并致谢。

由于作者水平有限，欢迎同行专家对书中不当之处批评、指正。

目 录

第一篇 高分辨率层序地层学研究

第一章 概论	(1)
第一节 区域地质概况.....	(1)
第二节 层序地层学基础.....	(5)
第三节 研究内容、技术路线.....	(6)
第二章 层序地层框架	(9)
第一节 概述.....	(9)
第二节 地震层序划分	(17)
第三章 构造运动与层序地层的关系	(22)
第一节 渤海湾盆地区域大地构造背景	(22)
第二节 惠民凹陷构造应力场分析	(23)
第三节 中央隆起带构造演化特征	(23)
第四节 构造活动与层序演化的关系	(32)
第四章 层序地层分析	(33)
第一节 标准剖面层序地层及沉积学分析	(33)
第二节 层序地层横向对比分析	(45)
第三节 孔店组红层层序地层分析	(48)
第五章 陆相层序地层的控制因素及模式	(55)
第一节 层序地层的控制因素	(55)
第二节 层序地层模式	(60)
第六章 高分辨率层序地层学在储层精细划分和对比中的应用	(74)
第一节 准层序及准层序组界面的识别	(75)
第二节 准层序、准层序组划分	(76)
第三节 高分辨率层序地层对比与传统对比的不同	(79)
第四节 同生断层对湖平面变化和层序地层展布的控制作用	(83)

第二篇 砂体沉积学研究

第七章 相标志及单井相分析	(87)
第一节 岩性标志	(87)
第二节 古生物标志	(95)
第三节 地球物理标志	(96)

第四节	地球化学标志	(98)
第五节	单井相分析	(99)
第八章	沉积体系研究	(105)
第一节	洪水-漫湖沉积体系	(105)
第二节	河流-三角洲沉积体系	(109)
第三节	三角洲-深水浊积扇沉积体系	(114)
第四节	滨浅湖滩坝沉积体系	(117)
第五节	风暴重力流沉积体系	(123)
第六节	滨浅湖碳酸盐沉积体系	(129)
第七节	沉积演化	(129)
第九章	砂体展布	(140)
第一节	沙四段下部砂体	(140)
第二节	盘河砂体	(140)
第三节	上下油页岩之间的砂体	(142)
第四节	基山砂体	(144)
第五节	临邑砂体	(149)
第六节	商河砂体	(149)
第十章	砂体成岩作用及储层评价	(153)
第一节	储层成岩作用特征	(153)
第二节	成岩演化史及储层评价	(161)

第三篇 在油气预测中的应用

第十一章	生储盖评价及有利区带预测	(169)
第一节	概述	(169)
第二节	不同类型层序对生储盖层的控制	(173)
第三节	有利目标预测	(174)
参考文献		(176)

第一篇 高分辨率层序 地层学研究

第一章 概 论

第一节 区域地质概况

一、构造特征

惠民凹陷是渤海湾盆地济阳拗陷最大的一个次一级凹陷(图 1-1),西与临清拗陷中的莘县凹陷相连,东部与东营凹陷相通,南以齐河-广饶断裂与鲁西隆起相接,北以陵县-阳信断裂与埕宁隆起为邻。凹陷长轴大致呈 NNE 走向,面积约 7000 km²。根据其构造特点及地层发育情况,本区又可进一步划分为临南、滋镇、阳信、里则镇和肖庄等次一级洼陷以及中央隆起带和南斜坡八个次级构造单元(图 1-2)。

中央隆起带位于惠民凹陷中央,是惠民凹陷主要控油构造带,延伸方向与凹陷走向一致,断层体系复杂,发育了北东方向、近东西向、棋盘格式和帚状断裂体系,贯穿整个凹陷。

二、地层结构

惠民凹陷主要形成于第三纪,因此,把前第三纪的地层统称为基底岩层,第三纪和第四纪岩层则作为盆地的盖层。

1. 盆地基底

由于盖层沉积厚度比较大,再加上井深有限,目前在惠民凹陷钻遇基底的井并不多,仅见有太古宇、寒武系、石炭系、二叠系和白垩系。

2. 盆地盖层

惠民凹陷沉积盖层包括老第三系、新第三系和第四系,这里只对老第三系作一描述。

孔店组(E_k)根据渤海湾盆地的划分方案,孔店组可以三分为孔三段、孔二段和孔一段。

孔三段(E_{k3})惠民凹陷仅林 2 井钻穿了 107 m,以棕色泥岩为主,普遍含灰质、砂质及小砾石,并含大量方解石脉,砂岩、砾岩分选很差。

孔二段(E_{k2})根据禹 4 井、林 2 井和盘深 1 井的钻井情况,孔二段地层岩性主要以深灰色、灰绿色泥岩,灰色岩屑砂岩为主,夹少量薄煤层及安山岩。自然电位曲线靠近泥岩基线,电阻率中阻曲线呈尖峰状。见有被子植物的三沟粉属、网面三沟粉属、漆粉属以及蕨类的水龙骨单缝孢属等孢粉化石。

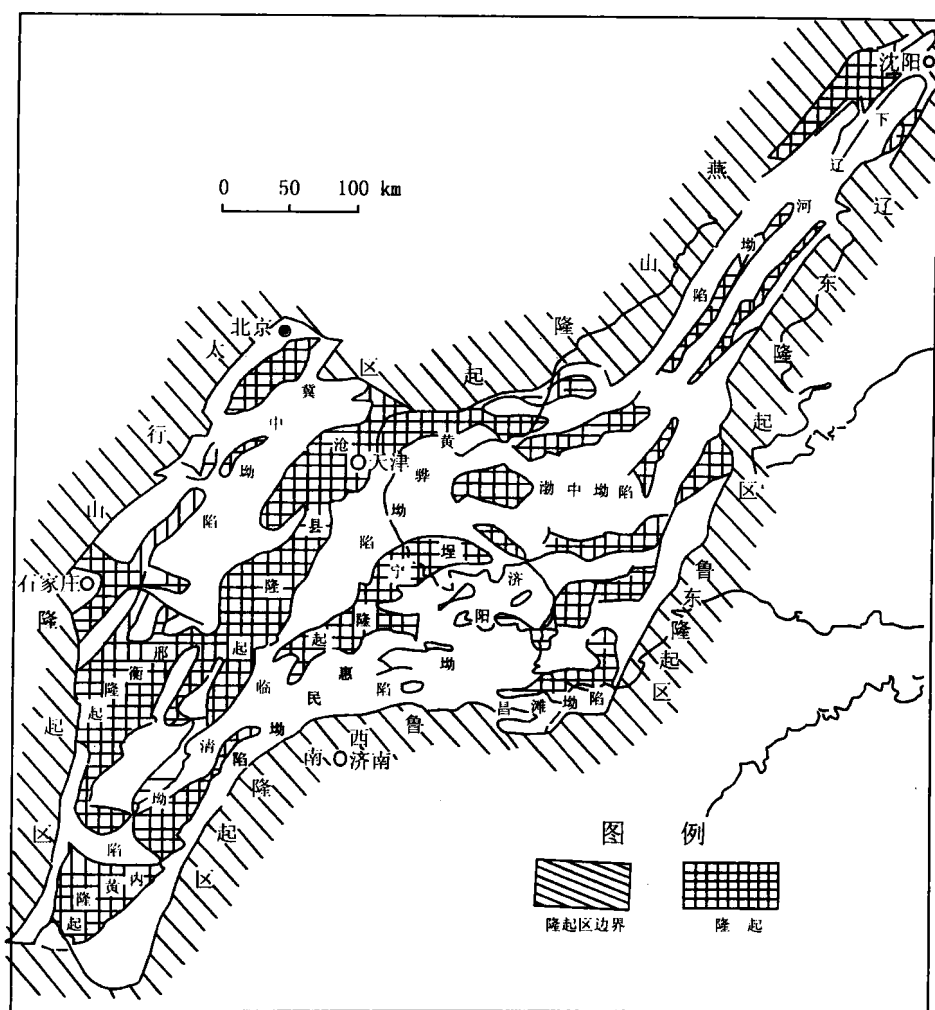


图 1-1 渤海湾盆地第三系构造略图及工区位置

(据王秉海等, 1992)

孔一段 (Ek_1) 岩性以棕色、红色粉砂岩、细砂岩夹紫红色泥岩为特征。自然电位见大段负异常, 电阻率曲线中阻呈齿状, 见被子植物的榆属、栎属、胡桃属、桦属等; 裸子植物的杉科, 单束松粉属以及蕨类的水龙骨单缝孢属等孢粉化石。

沙河街组可以四分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。其中, 沙四段地层又可分为下、中、上三个亚段。

沙四下亚段 (Es_4^F) 岩性以紫红色、灰色泥岩和灰色、棕色粉砂岩互层为特征。自然电位曲线呈尖峰状偏负, 幅度中等, 电阻率低值, 曲线平缓呈小齿状, 见有渤海藻、真蕨目、裸子植物的麻黄属、被子植物的栎属、榆属、桦科、芸香科、枫香粉属等化石。

沙四中亚段 (Es_4^M) 以灰色泥岩、灰白色粉砂岩互层为特征, 含白云质及石膏成分, 自然电位曲线呈指状偏负, 幅度中等, 电阻率低值、平缓, 曲线呈小齿状, 见有美星介、真星介、金星介和拟星介属的介形虫化石, 还有真蕨目和裸子植物的松属、雪松属、杉科、麻

黄属，以及被子植物的胡桃属、榛属、栎属、榆属、木兰属等孢粉化石。

沙四上亚段(E_{s4}^+) 在西部湖盆边缘以灰色、灰褐色砂泥岩互层为特征，夹少量炭质页岩，自然电位曲线呈指状偏负，幅度中—低，电阻率低值曲线平缓，呈小齿状。在东部商河地区岩性以褐色油页岩为主，自然电位靠近泥岩基线，电阻率曲线值高、尖峰状。见有真蕨目、水龙骨科、金毛狗属，及裸子植物的松属、雪松属、杉科、麻黄属和被子植物的胡桃属、榛属、栎属、榆属、枫香属、木兰属、唇形科等孢粉化石，以及南星介属、金星介属、玻璃介属等介形虫化石和潜江扁球轮藻化石。

沙三段地层又可进一步分为上、中、下三个亚段。

沙三下亚段(E_{s3}^-) 在西部湖盆边缘以灰白色粉细砂岩和灰色泥岩为主，夹薄层炭质页岩。自然电位曲线呈尖峰状偏负，幅度小，顶部为大套砂岩，自然电位曲线呈指状偏负，幅度中等，电阻率低值曲线呈小齿状；在东部商河地区以油页岩、灰质泥岩为主，自然电位曲线靠近泥岩基线，电阻率高值曲线呈尖峰状。见有中国华北介、惠东华北介、小拟星介、隐瘤华北介等介形虫化石，孢粉组合表现为裸子植物大为减少，松科减少，麻黄粉个别出现，被子植物的栎属含量增加，榆属减少，表明温度和湿度的不断升高。

沙三中亚段(E_{s3}^0) 以灰色泥岩、褐色油页岩为主，夹火成岩，在中部临商结合带见有大套灰色砂岩夹泥岩。自然电位曲线总体表现为靠近泥岩基线，砂岩含量较多处表现为幅度高，呈指状或箱状。电阻率曲线上部较低，呈小齿状，下部电阻率曲线很高呈尖峰状，见有脊刺华北介、小拟星介、惠东华北介等介形虫化石。孢粉组合与沙三下亚段相似，麻黄粉属更少，栎粉属含量增加。

沙三上亚段(E_{s3}^+) 岩性以灰白色粉砂岩和灰色泥岩互层为特征及炭质页岩间夹少量薄煤层，自然电位曲线偏负呈指状、箱状，幅度大，电阻率曲线中等呈齿状。

沙二段又可分为下、上两个亚段。

沙二下亚段(E_{s2}^-) 岩性以灰色、棕色泥岩为主，夹砂岩，自然电位曲线靠近泥岩基线，电阻率低，曲线呈小齿状，见椭圆拱星介、博兴假玻璃介，孢粉组合为：裸子植物松属、杉科含量高，麻黄属含量增加，被子植物以栎属为主，榆属、榛属、胡桃属含量也较多。

沙二上亚段(E_{s2}^+) 岩性以灰绿色、紫红色泥岩与灰色砂岩互层为特征，夹少量炭质页岩，自然电位曲线呈指状偏负，幅度中等，电阻率低值，曲线呈小齿状，见有长形拱星介、椭圆金星介、肖庄美星介、平方王华花介等介形虫化石。孢粉组合为：蕨类的凤尾蕨属、水龙骨科单缝孢属少量出现，裸子植物的麻黄粉属含量较高，被子植物代表干热型的栎属、芸香粉属、唇形三沟粉属、藜粉属出现较多。

沙一段(E_{s1}) 下部为灰色、紫红色泥岩与灰白色粉砂岩、细砂岩互层，夹少量生物灰岩、灰岩和白云岩；中部为生物灰岩、鲕状灰岩、针孔灰岩、灰岩及白云岩与泥岩呈薄互层出现夹少量油页岩；上部以灰色泥岩和棕褐色油页岩为主夹少量白云岩和粉砂岩，含惠民斗星介、惠民小豆介、李家广北介以及均匀狭口螺等化石。

东营组具有明显两分性，可再分为东二段、东一段：

东二段(E_{d2}) 灰白色粉、细砂岩与灰色泥岩互层；

东一段(E_{d1}) 以灰、灰绿、棕红色泥岩为主，夹少量粉砂岩和薄层泥灰岩。东营组含弯脊东营介、指纹东营介、花瘤东营介、车镇华花介等化石。

第二节 层序地层学基础

层序地层学是 80 年代后期在国外产生的一门新学科、一种新方法和新技术,它主要以海平面变化为基础,同时考虑构造升降、气候变化和沉积物输入等参数来研究沉积盆地不同级序沉积地层单元的划分、对比及其时空展布以及盆地演化历史、沉积模式、生储盖组合及地层圈闭等问题。层序地层学通过综合分析地震、岩心、测井、古生物和地化资料实现了对地层的等时性对比,提高了对生储盖层以及地层圈闭的预测能力。

层序地层学理论是在研究海相地层的基础上发展起来的。这套理论能否有效地应用于陆相地层,近几年国内外诸多学者在这方面已开展了深入研究。1991 年在加拿大 Banff 召开的 NUNA 讨论会上专门组成一个工作组来探讨层序地层学概念在陆相地层中的应用,认为层序地层学的原理及概念能有效地应用于陆相地层。但陆相地层相对来说要更加重视气候和构造运动在层序发育过程中的作用。沉积学家和地层学家在陆相层序地层学的应用中所面临的一个重要挑战是采用一种机能更完整的方法来了解所有异旋回控制在陆相沉积中的作用。目前世界范围内的地质学家已开始了大规模的非海相层序地层学研究:如对冲积地层的层序地层学研究 (Shanley, 1992; Macabe, 1993); 对风成地层层序地层学研究 (Havholm 和 Kocurek, 1991)。Johnson 等 (1987)、Dunkelman 等 (1988)、Scholz 等 (1990) 都对东非裂谷体系及姜在兴等 (1996) 对济阳坳陷的湖泊作了深入研究,认为层序地层学理论也适合于在湖相地层中应用。因为湖面的变化对湖相沉积作用产生基本控制,其方式与相对海平面变化对浅海地层的控制极为相似,而且地震资料中所观测到的湖相地层的层序地层单元尽管比相应的海相单元薄,但在形态上与许多被动陆缘盆地的观测结果极为相似 (Jol 和 Smith, 1991)。层序地层学作为一套新理论、一种新技术,有可能在湖相领域发挥出更大的作用。

陆相湖盆与海相盆地相比具有如下特点:①陆相断陷湖盆层序的形成与演化主要受控于区域性构造事件或幕式构造旋回,复杂的构造格局和多幕式构造作用导致层序样式的多样性和层序构成的复杂性 (解习农等, 1995); ②湖面变化不受全球海平面变化的影响,除近海湖盆偶有“海泛”作用外,还没有资料证明湖平面变化与全球海平面变化有任何关系 (薛良清, 1990), 相反,湖平面变化具周期性和幕式变化两种,周期性变化同气候和季节的周期变化有关,而幕式变化由构造运动所致 (解习农, 1995); ③湖盆具有多物源、近物源、多沉积沉降中心、相带窄、相变快、水域面积小、变化大等特点; ④湖盆规模小、内部构造分异大、沉积及沉降速率差异大,增加了地层层序的复杂性和多样性; ⑤湖盆无潮汐作用,水化学条件差别也较大。

没有一种勘探技术能够没有缺陷地确定一个潜在的储集层,但是层序地层学可能向前迈进了一步。通过了解海(湖)平面的变化可以解释砂、页岩及碳酸盐岩的局部组合,从而帮助我们寻找常规解释所遗漏的远景圈闭。体系域是具有可预测的地层层序及可预测的形态和成分的沉积组合,每个体系域都表现出其特征性的测井曲线响应、地震信号及古生物遗迹,仔细地观察体系域,其几何形态和岩性以及在各种资料上的不同表现可以预测其含油气远景带——储集层、生油层和盖层。

层序地层学分析技术已成为 90 年代勘探人员使用的一种新技术,随着越来越多的人掌

握了这项技术,它将成为约束生油层、储集层、盖层,尤其是储集层的形态、范围及连续性的一种开发工具。但在具体应用时应注意,层序地层学既是一套方法,也是一套理论,是多学科、多手段的综合科学,应用时应把握先宏观后微观的原则,首先从区域上、整体上来把握,利用各种资料综合分析,划分出层序边界和最大湖泛面,然后再对每个层序进行细微研究,划分出体系域,在此基础上编制出层序地层框架图、地层等厚图、岩相古地理图、沉积(沉降)中心分布图、砂体展布图,并对有利圈闭及油气聚集带进行预测。

层序地层学与其它地层学相比具有如下优点:沉积解释比其它地层学更符合地质实际,对储集层、生油层和盖层的时空展布有更强的预测性,在勘探方面它有助于在成熟盆地和新盆地中发现新油层,通过建立年代地层框架可预测储集层、生油层和盖层的展布,在开发方面,它能够提高储集层、生油层和盖层的预测精度。

层序地层学自从90年代初进入中国以来,引起中国地质界学者的极大关注。目前我国东部大部分油田的勘探开发都已进入了中后期高含水阶段,在稳定东部、发展西部的总体战略中,控水稳油、增储上产、提高开发效率及采收率、节约勘探成本成为当务之急,而层序地层学在国外已得到广泛应用并且具有对生、储、盖层及有利圈闭进行高精度的预测精确性,因此层序地层学的出现为我们重新认识老油田、发现新油田带来了希望。

第三节 研究内容、技术路线

层序地层学是根据地震、钻井、岩心和露头资料以及有关的沉积环境和岩相并综合考虑构造升降、气候变化和沉积物输入等参数进行综合解释,建立以地层不连续面为边界的成因上有联系的旋回性地层的年代地层学体系。层序地层学研究对于石油勘探和开发具有非常实际的影响,尤其在勘探成熟区,寻找隐蔽油气藏已成为老油田增储上产的主要手段。层序地层学分析的技术核心是在全盆地建立起等时性地层格架,在此基础上将盆地充填序列解释为不同级别的层序地层单元,并进一步研究各级沉积层序地层单元的划分、对比、横向展布以及沉积模式、沉积演化史、生储盖组合和地层、岩性圈闭等问题。

惠民凹陷构造活动频繁、断裂体系复杂,由于传统的地层单元划分和对比在局部地区存在着一定的穿时现象,一些储集砂体和含油层系的横向展布关系不清。这些问题直接影响着我们对盆地演化规律、油气的生成、运移、聚集和保存规律以及对全凹陷的整体评价的正确认识。同时惠民凹陷还存在着①地质储量低,与其面积不相称;②油藏类型单一,以构造油气藏为主,缺乏其它类型的油气藏;③构造演化对地层发育的控制关系不清;④勘探程度和研究程度都较低等问题。另外将层序地层学理论应用于陆相地层研究的理论和方法都不成熟,还存在着许多问题,比如控制因素、沉积基准面、可容空间和体系域的划分等。为了探讨现存的这些问题并对其有一个更深刻的了解,我们承担了对惠民凹陷中央隆起带西部老第三系的层序地层学研究工作,同时结合油气勘探开发中的问题,所有这些问题也就决定了本课题在研究工作中所要进行的主要研究内容和技术路线的特点。

一、主要研究内容

本研究工区位于惠民凹陷中央隆起带西部,目的层段为老第三系沙河街组三段、四段,同时亦对孔店组地层作了初步探讨,具体研究内容主要包括以下几个方面:

1. 地震层序分析

地震资料被广泛地应用于盆地的构造特征研究,随着科学技术的进步和采集手段、处理、解释手段的不断提高,大量地震资料,尤其是高分辨率的三维地震资料可以给我们提供一个全盆地四维空间的层序地层关系。因此我们可以充分利用地震资料的相对成本低廉、数据量大、内容丰富、分辨率高等特点并结合盆地地质背景资料和区域构造演化资料建立起全盆地的等时性区域性层序地层格架。在建立层序地层格架时可以通过识别地震剖面上的削蚀、顶超、上超、下超等不整合面的地震反射特征,并进一步根据地震相的外部几何形态、内部反射结构以及反射波的各种参数特征划分体系域,然后同单井资料进行对比、验证,从而进一步完善层序地层的划分方案。

2. 测井层序地层分析

测井资料具有比地震资料高得多的分辨率,特别是对于开发中的油田来说各种测井资料特别丰富,在开展高分辨率层序地层学研究时大量测井资料为此提供了坚实的物质基础,但是测井资料主要反映地层的岩性特征,为了保证沉积地层单元的等时性划分和对比,必须把测井资料约束在地震资料和地质背景资料所划出的等时性层序地层格架内。不同岩性的地层对应着不同的电性特征,不同体系域的沉积地层组合也对应着不同形态的测井曲线的组合。利用测井资料进行层序、体系域、准层序组、准层序等各级地层单元的识别,并同地震、地质资料相验证以达到高分辨率的等时性地层对比,为正确建立油藏模型、储层评价、开发方案调整提供了可靠的保证。

3. 标准地层剖面层序地层分析

我国东部断裂复杂的伸展型断陷盆地,虽然具有非常丰富的地震资料和测井资料,但进行层序地层学分析时往往存在一个巨大的缺陷,就是不能保证地层关系的自然完整性。层序地层学对于地层的自然缺失现象可以给出很好的解释,但对于后期的断裂作用所造成的地层缺失,层序地层学就显得力不从心了。而且陆相湖盆内部还存在构造分异程度大、不同构造部位层序演化也不相同的特点。因此我们在张性断陷湖盆中首先应该在全盆地不同构造部位综合地质、地震资料并结合其它古生物、地化分析资料建立起局部地区的标准地层剖面,从而才能进行正确的层序地层划分,并在此基础上进行层序地层的横向对比,建立起全盆地等时性地层格架。

4. 生物地层分析

对于传统的用于年代地层分析的古生物资料,在层序地层学研究中具有重要的意义。通过研究古生物化石带的缺失、生物群的丰度和分异度来识别层序边界和最大湖泛面,可以帮助我们确定层序的年龄以及进行沉积盆地的岩相古地理恢复工作。

5. 地球化学分析

地球化学指标对于沉积环境具有非常高的灵敏性,通过研究常量元素、微量元素、稳定同位素、稀土元素以及有机地化分析资料,同样可以帮助解释层序、体系域边界和内部特征,以及对古温度、古盐度和氧化还原程度的恢复。

6. 综合层序地层分析

综合地质、地震、钻井、测井、岩心、古生物和地球化学资料,通过相互验证,修改完善,在全盆地建立起等时性层序地层格架,并对各级地层单元进行划分和横向等时性对比,从而进一步恢复盆地构造演化史、沉积充填史、实现岩相古地理再造并评价生储盖组合,预测有利油气聚集带。

7. 层序地层模式研究

通过对惠民凹陷老第三系沙河街组、孔店组地层的层序地层分析,对陆相张性断陷湖盆的层序演化动力机制、控制因素进行了剖析,对于构造沉降、气候变化、沉积物供应及湖平面升降对层序发展演化的影响作用有了新的认识,并对沉积基准面和可容空间的概念进行了初步的探讨,总结出陆相湖盆不同演化阶段的层序演化模式。

二、技术路线

运用层序地层学的基本原理和方法,首先根据区域地质背景和地震资料,参考邻区沉积地层旋回规律,在全盆地建立层序地层格架,在此层序地层格架的约束下利用测井资料、岩心资料、古生物资料和地球化学分析资料,在分区标准剖面上对层序体内部的体系域、准层序组、准层序进行识别和划分,并与地震资料、地质资料相互验证、修改和完善,然后从标准剖面出发,由点到面、点面结合、平面与剖面结合,对于出现的一些问题详细推敲、反复论证,从而在全盆地建立起等时性层序地层格架,并综合地质、地震、测井、岩心、古生物和地球化学资料,根据沉积岩石学、地层学、构造地质学、沉积地球化学、古生物和古生态学以及石油地质学的基础理论和方法,恢复盆地古地理、古气候、古环境,并对层序类型、成因机制、控制因素进行详细剖析,总结出陆相湖盆层序地层演化模式及其对生储盖层的控制规律,评价有利生储盖相带。具体研究流程见图 1-3。

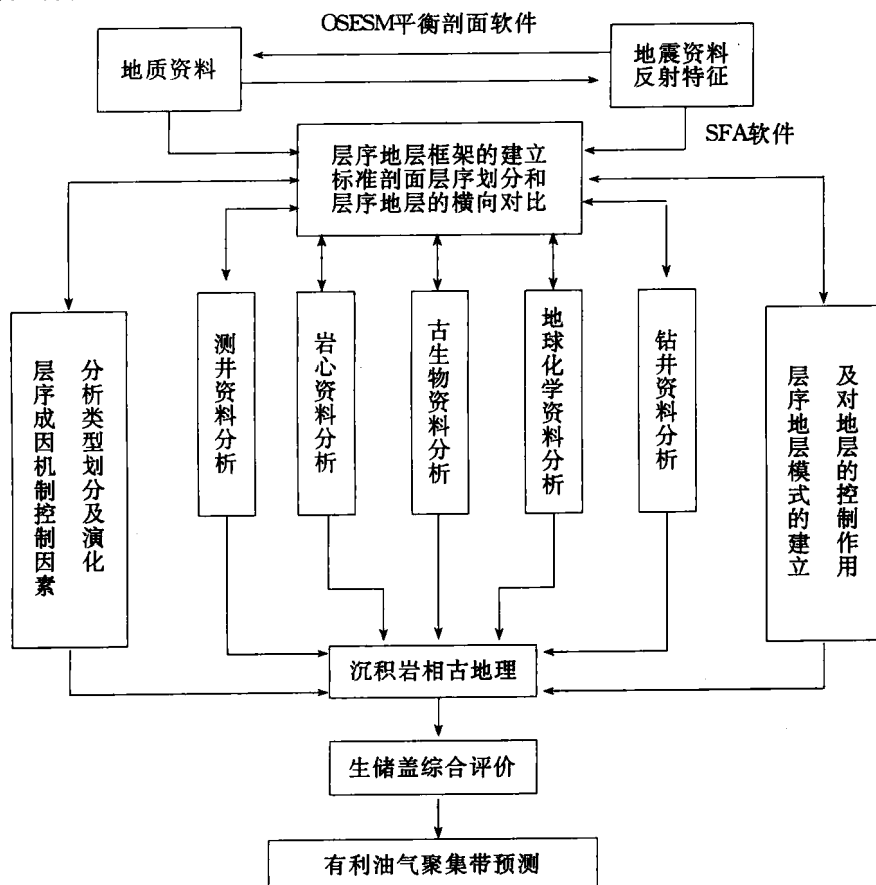


图 1-3 研究方法和技术路线图

第二章 层序地层框架

第一节 概 述

一、层序的内涵

层序作为相对统一的、成因上有联系的、顶底以不整合面或可与之对应的整合面为界的一套地层，它强调：①层序内部地层在成因上有着密切的联系；②以不整合作为其开始和结束的标志，这里不整合面是指一个分开较新和较老地层的面，沿该面有证据表明存在指示重大沉积间断的陆上侵蚀削截或者陆上暴露现象，它不包括局部的、与地质作用伴生的同生期侵蚀和沉积；③层序是一个四维的概念，它既代表一段时间的延续，同时也表明一种三维岩相组合的空间分布。

二、层序划分所应遵循的原则

最大间断原则：即层序内部不应存在比该级层序边界更为重要或显著的沉积间断面。

等时性原则：各级层序都应为同期的沉积产物，它们一般与相应的构造沉降幕相联系。

统一性原则：层序的级别和类型应在一定范围内统一。

顺序性原则：沉积盆地中各同级层序在时间上先后依次排列，既不会发生重叠，也不会存在层序的缺失。

三、不整合——层序边界面的典型标志

层序作为一个完整的沉积旋回出现在地层学界以来，对于其边界问题曾出现较多的分歧。在层序地层学界目前存在着两种截然不同的观点：一种认为层序边界应以最大洪（湖）泛面（maximum flooding surface）作为层序的边界，从而提出成因层序地层学（以 W. E. Galloway 为代表），其理由为最大洪（湖）泛面分布范围广、沉积特征明显，同时由于密集段的存在，使得在全区易于追踪对比，可操作性强；另一种观点得到多数专家和学者的认可（以 P. Vail 为代表），他们认为层序边界应以不整合面或与之对应的整合面作为边界，其依据是：①地层格架不是均变式连续堆砌的，而是间断地、跳跃式地形成的，每一次间断都可能代表一次极为重要的事件发生；②每次间断尤其是事件性间断，其代表的界线上下都有可能发生沉积环境突变、地球化学异常、构造变动，甚至出现生物的绝灭等。

在进行层序的划分时，我们认为采用不整合面作为层序的边界，而不以沉积密集段（最大洪泛面）作为层序的边界这一方案更为可行，主要原因是：

（1）虽然密集段的存在可以作为良好标志层，但是在一个层序中形成密集段的湖侵事件是由两个湖泛面（初次湖泛面和最大湖泛面）所限定的，其间沉积物类型可能一致，而且在深水区，距离物源较远，其在层序中的各个时期有可能沉积特征变化不大，尤其在小规模层序中。这样在全盆地对比时无疑将会有很大的困难，而且将可能出现一些穿时现象，如图 2-1 所示，A—B—C₂ 是等时的，但我们在进行地层对比时极有可能由 B 对到 C₁ 或

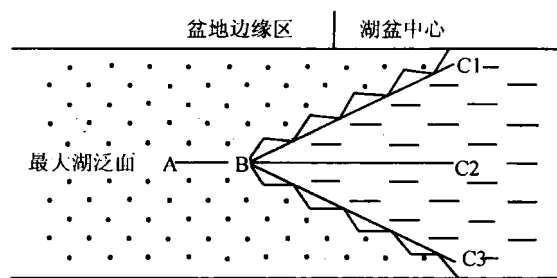


图 2-1 最大湖泛面的横向对比

C2，造成穿时现象。

(2) 一个层序关键的一点就是要要求其内部地层在成因上有密切联系。密集段上下在沉积岩相古地理、沉积地球化学、古生物、古生态方面应是比较相似的。相反，在不整合面上下，地层发育的古环境、古地理等方面可能将会有很大的差别，而且不整合面所代表的沉积间断比地层记录所代表的时间要长得得多。如果以最大湖泛面作为层序边界的话，将破坏了一个沉积旋回的完整性，从而在一个层序中将会包含有可能代表一个相当长时期的沉积间断，而且在沉积间断前后所沉积的地层的古地理、古环境也可能截然不同。我们可以利用 Walther 定律预测横向相关关系，除非用于建立相关关系的纵向岩石剖面被一不整合面所间断。有鉴于此，如果层序内部存在着更大的不整合，对于盆地岩相古地理的重建无疑会带来很大的困难，甚至产生错误。

(3) 以不整合面作为层序界面也同样具有良好的可操作性。因为在不整合面附近会出现很多特征标志，如剥蚀、根土层、氧化色、底砾岩；同时在地球化学、古生物、古生态以及地震、测井资料上都会出现比较明显的响应。

(4) 不整合面之下一般是一些前积式三角洲沉积砂体，不整合面之上则发育较多的上超式地层，这表明它对沉积相带的分布起着强大的控制作用，与储集层的分布有着密切的关系，以不整合面作为层序边界对于更好地了解储层展布、油气水系统会有很大的帮助，尤其对于已经处于开发中的油田，这一点更为重要。

(5) 不整合面及其对应的整合面是将其上下地层合理分开的一个广泛分布的面，尽管不整合面可能在每一点的年龄都不相同，如图 2-2，但是对于一个以不整合面为边界划出的层序体所对应的时间段中绝对不会混杂有其它年代所沉积的地层，因此在这个意义上来说不整合面应是一个等时面，它具有年代地层学的意义。

四、各类边界面的识别标志

湖盆在发育的不同时期所形成的层序、体系域都有各自不同的特点，其边界面在地震、电性、岩心、古生物等方面都有一定的特征显示，有不同的识别标志：

1. 层序界面的识别标志

识别层序边界关键是识别不整合面，不整合面在各种资料上都有很明显的识别标志：

(1) 地震反射特征 层序界面一般在地震反射上都有明显的响应。反射在横向上连续性较好，振幅中等到强。在界面之下盆地边缘常见到削蚀现象，界面之上则有上超等不整合标志，如在唐庄三维 EW281 测线、EW497 测线和 SN349 测线上都可发现这些反射特征。

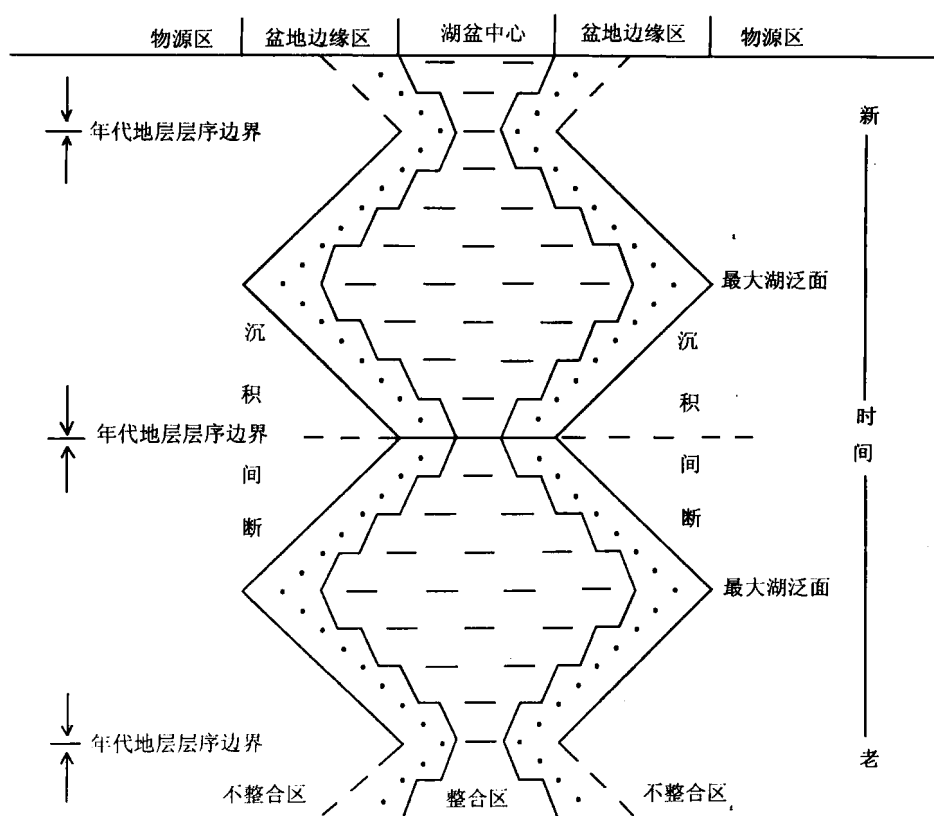


图 2-2 层序边界及地质年龄

在 SN349 测线上也发现下切河道充填等标志。

(2) 岩心上的识别特征 在岩心上可以看到一些暴露标志, 如地表冲刷现象和滞留沉积物, 出现铁质结核 (唐 4 井、盘 47 井)、根土层、微球粒、岩石颜色变红 (临深 1 井) 等, 一些生物碎屑 (盘 52 井)、炭质泥岩及植物屑的大量出现也表明一次沉积旋回的结束, 如商 25-34、商 39 井岩心。

(3) 层序边界的电性特征 层序边界在测井曲线上具有明显的响应。一般层序界面之下准层序组为进积式, 自然电位曲线为漏斗状, 而界面之上准层序组为退积式, 自然电位曲线呈钟形或箱形 (图 2-3)。在深水区泥质岩沉积物中, 层序边界附近由于沉积速度快, 水体达到最浅, 氧化性增强, 同时由于大气淡水的淡化作用导致地层水矿化度降低, 在测井曲线上表现为电阻率较高, 感应测井曲线值明显降低 (图 2-4)。利用自然伽马能谱测井的钍、铀含量也可以识别层序边界, 一般在层序边界附近由于氧化性增强、还原度降低, 表现为钍含量增加, 铀含量降低 (图 2-5), 可见利用自然伽马能谱资料在深水沉积中识别层序边界是非常直观的。

(4) 古生物特征 在层序边界附近, 由于局部地区暴露地表, 水体浅而盐度高、生物种属单调、丰度和分异度都较低 (图 2-6、7)。同时界面上下古生物组合存在比较明显的差异, 如果沉积间断时间比较长, 有可能存在化石带的缺失现象。对于整个渤海湾盆地老第三纪生物数量与层序也有很好的对应关系 (图 2-8)。